

Liquid immiscibility in the Fe-O-S system at high pressure and implications for planetary cores

著者	津野 究成
号	50
学位授与番号	2371
URL	http://hdl.handle.net/10097/39430

氏名・（本籍）	つ の きゅう せい 津 野 究 成
学位の種類	博 士（理 学）
学位記番号	理博第2371号
学位授与年月日	平成19年3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科，専攻	東北大学大学院理学研究科（博士課程）地学専攻
学位論文題目	Liquid immiscibility in the Fe-O-S system at high pressure and implications for planetary cores (高压下における Fe-O-S 系の液相不混和領域の決定と，その惑星中心核への適用)
論文審査委員	(主査) 教授 大谷 栄 治 教授 藤 卷 宏 和, 工 藤 康 弘, 吉 田 武 義 教授 塚 本 勝 男 教授 谷 口 宏 充（東北アジア研究センター） 教授 近 藤 忠（大阪大学） 教授 藤 本 博 己（地震・噴火予知研究観測センター）

論 文 目 次

Chapter 1.

Liquid immiscible regions in the Fe-O-S system at high pressure and implications for planetary cores

1. Introduction

2. Experimental methods

3. Experimental Results

3.1. Interpretation of textures between two immiscible and a single miscible melt

3.2. Textural observations of partial melts, two immiscible melts, and single miscible melts

(1) 15 GPa and 1825-2030°C

(2) 15 GPa and 2300°C

(3) 18 GPa and 1960-2120°C

(4) 21 GPa and 2210-2300°C

3.3. Phase relations in the Fe-O system

3.4. Phase relations in the Fe-O-S system

4. Discussion

4.1. Fe-O system

4.2. Fe-O-S system

5. Implications for planetary cores

6. Summary

References

Chapter 2.

In-situ observation and determination of liquid immiscibility in the Fe-O-S system at 3 GPa using a synchrotron X-ray radiographic technique

Abstract

1. Introduction

2. Experimental methods

3. Results and discussion

3.1. A starting composition with 27mol.% O and 8 mol.% S (S1692)

3.2. A starting composition with 27mol.% O and 8 mol.% S (S1702)

3.3. A starting composition with 23 mol.% O and 15 mol.% S (S1699)

3.4. A starting composition with 19 mol.% O and 20 mol.% S (S1697)

3.5. A starting composition with 16 mol.% O and 27 mol.% S (FeOSPF002)

3.6. A starting composition with 13 mol.% O and 33 mol.% S (S1695)

3.7. Discussion

4. Summary

References

論 文 內 容 要 旨

1. Liquid immiscible regions in the Fe-O-S system at high pressure and implications for planetary cores

We have determined phase relations in the Fe-O-S systems in the range of 15-21 GPa and 1825-2300 °C. Solid FeO and metallic liquids are observed below the liquidus temperatures. An immiscible two-liquid region shrinks significantly with increasing pressure at constant temperature and it almost disappears at 21 GPa and 2300 °C. Immiscible two-liquid regions are thus not expected to exist in the Fe-O-S system in the Earth's core, suggesting that both oxygen and sulfur can be incorporated into the core. Our results are consistent with a geochemical model for the core containing 5.8 wt.% oxygen and 1.9 wt.% sulfur as proposed by McDonough and Sun (1995). During the Martian core formation, oxygen can be incorporated into the sulfur-rich iron melt due to the high temperature above 2000 °C. After the core formation, solid FeO or FeO-rich melt might be floated to the Martian outermost core because the temperature of the Martian interior becomes lower.

2. In-situ observation and determination of liquid immiscibility in the Fe-O-S system at 3 GPa using a synchrotron X-ray radiographic technique

Liquid immiscibility of Fe-melts with light elements for Earth and planetary cores has important implications for formation, composition, and structure of their cores. Previous investigations for the liquid immiscibility were based on the analysis of quenched run products. It is therefore necessary to perform in-situ observation of the liquid immiscibility and miscibility, and quench process of liquid Fe-alloys, because a single miscible melt at high-temperature condition may be separated into two immiscible melts during quenching if an immiscible two-liquid region exists at lower temperature. We have performed in-situ observation of the Fe-O-S melts using a synchrotron X-ray radiographic technique at 3 GPa. When we used starting compositions with Fe-23 mol.% O-15 mol.% S, and

Fe-19 mol.% O-20 mol.% S, two immiscible melts were completely mixed with increasing temperature, and a single miscible melt was separated into two phases during quenching. We have taken this into consideration, and have precisely determined that the liquid immiscibility gap shrank with increasing temperature up to 1935 °C at 3 GPa. We believe that the synchrotron X-ray radiographic technique is effective for investigating the liquid immiscibility and melting relations of the Fe-light element(s) systems.

論文審査の結果の要旨

地球型惑星の核の多くは、融解した金属鉄を主成分としている。このような、惑星の核の構造を解明するためには、金属鉄を主成分とする融液の性質を解明することが不可欠である。津野究成は、地球型惑星の核を構成すると考えられる金属鉄—軽元素系特に軽元素としてもっとも存在可能性の高い酸素とイオウを含むFe-O-S系の液相における混和・不混和関係を高温高压条件において明らかにした。

津野究成は、第一の研究として、火星の中心核の条件である約21GPaまでのFe-S-O系における液相不混和領域の有無とその温度・圧力依存性を、マルチアンビル高压装置を用いた試料急冷法によって明らかにした。その結果、この系の液相不混和領域は、温度・圧力の増加にともなって減少し、火星の核の条件である21GPa、2300Kでは消滅し、系は完全に混和することを明らかにした。この結果は、火星の核の構造に重要な制約を与えるものである。また、熔融した地球の外核に関して、金属軽元素系の第一原理理論計算によって、これまで存在が示唆されていた液相不混和の存在が、本実験によって、否定されることになった。すなわち、温度・圧力の増加によって、液相不混和領域の減少し、不混和領域が21GPaで消滅することが明らかになった。すなわち、これ以上の温度圧力領域では液相不混和は存在しない。

津野究成は、第二の研究として、高温高压X線イメージング法を開発し、Fe-S-O系の液相不混和現象を高温高压下でその場観察することに世界で始めて成功した。実験はSPring-8およびPFにおいて放射光からの強力X線を用いたその場観察法を適用し、液相の不混和が存在する圧力である3GPaで、様々な温度での液相不混和領域を決定した。この実験の結果、1935℃の高温で不混和液体が混和することを始めてその場で観察することに成功した。また、混和領域からの急冷によって、温度低下とともに不混和領域が出現し、混和液体がそのまま凍結できないことを見出した。以上の実験の結果、試料急冷法による液相不混和の領域の決定には注意を要することが明らかになった。上記の第一の実験において、試料急冷法の実験によって21GPaで液相不混和が存在しないという結果を得ている。この実験結果は、今回のX線イメージング法の測定結果を考慮しても、液相の混和が確実なものであることを意味している。

以上の津野究成の研究成果は、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、津野究成提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。